Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 57/58 (1911)
Heft: 10

Artikel: Über die Absteckung des Lötschbergtunnels
Autor: Baeschlin, F.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-82659

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

INHALT: Ueber die Absteckung des Lötschbergtunnels. — Die Hochbauten der Bodensee-Toggenburg-Bahn und Rickenbahn. — Berner Alpenbahn. — Miscellanea: Die XLIV. Generalversammlung des Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Vereins. Engadiner Museum in St. Moritz. Weltausstellung Turin 1911. Neue Linien der Rhät. Bahn. Schweizerische Wasserrechtsgesetzgebung. — Nekrologie: Oberst Robert Reber. J. Röthlisberger. — Literatur: Bodensee-Toggenburg-Zürichsee. — Konkurrenzen: Bebauungsplan für das „Waidareal" in Zürich. — Vereinsnachrichten: Schweiz. Ingenieur- und Architekten-Verein. Gesellschaft ehemaliger Studierender: Stellenvermittlung.

Tafeln 25 bis 28: Die Hochbauten der Bodensee-Toggenburg-Bahn und Rickenbahn.

Band 58. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und unter genauer Quellenangabe gestattet. **Nr. 10.**

Über die Absteckung des Lötschbergtunnels

von Professor *F. Baeschlin*, Zürich.

(Fortsetzung.)

Diese *Lotabweichungsberechnungen* wurden auf die sichtbaren Massen bis zu einer Entfernung von 73 *km* gegründet.

Zu ihrer Berechnung wurde das von F. R. Helmert in seinen „Mathematischen und physikalischen Theorien der höhern Geodäsie II. Teil" Seite 368 und folgende entwickelte Verfahren benützt.

Entsprechend der Aufgabe, die oberirdischen Absteckungsergebnisse von dem Einflusse der Lotabweichungen zu befreien, konnte man sich darauf beschränken, nur die Komponenten der Lotstörungen in Richtung einer zur Tunnelaxe senkrechten Vertikalebene zu bestimmen.

Entsprechend den Voraussetzungen bei der Ableitung der Helmert'schen Formeln ist diese Unterteilung durch Zylinder und Vertikalebenen so weit zu treiben, dass man ohne allzu grosse Fehler annehmen darf, die Deckfläche eines solchen Körpers sei horizontal.

Sofern man Angaben über die Dichte der Gesteine in der untersuchten Zone hat, ergibt sich die Masse eines solchen Elementarkörpers, indem man vermittelst seiner mittleren Höhe und der bekannten Grundfläche sein Volumen bestimmt. Die Bestimmung der mittlern Höhe geschieht vermittelst einer Kurvenkarte.

Bis zu einem Radius von 8100 *m* wurde der Sigfriedatlas 1 : 50000 benützt (Aequidistanz 30 *m*). Von da weg wurde die hydro-orographische Karte der Schweiz im Masstab 1 : 500000 verwendet (Aequidistanz der Kurven 100 *m*).

Als Radien der Zylinder wählte man die Zahlen 100, 300, 900, 2700, 8100, 24300 und 72900 *m*.

Die Vertikalebenen zur weitern Unterteilung der entstehenden Hohlzylinder wurden von der Tunnelaxe ausgehend unter folgenden Winkeln gewählt: 0° 0′, 25° 51′, 36° 52′, 45° 34′, 53° 08′, 60° 0′, 66° 25′, 72° 33′, 78° 28′, 84° 16′ und 90° 0′, sodass 10 Sektoren gebildet wurden. Die Anordnung dieser Unterteilung ist aus der Abbildung 4 ersichtlich. Sie wurde so gewählt, um die Berechnungen nach den Helmert'schen Formeln möglichst einfach zu gestalten.

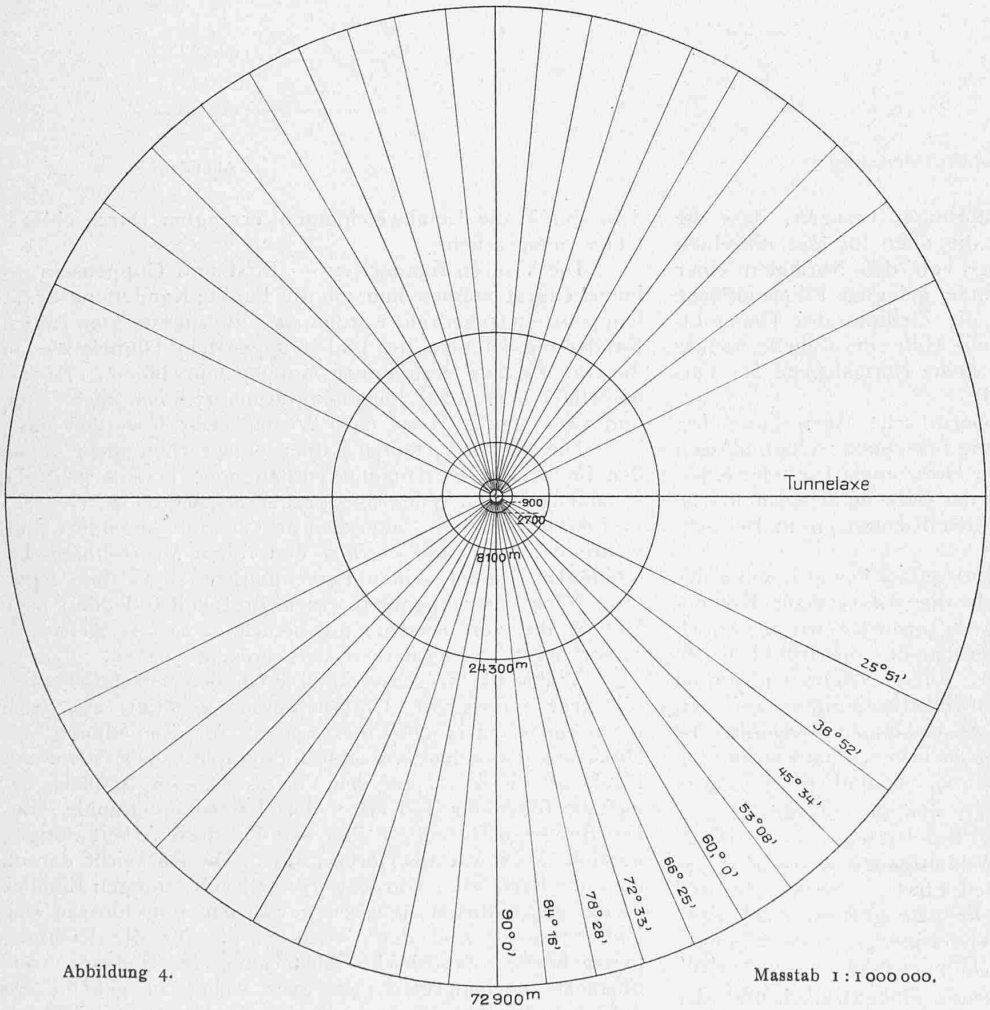

Abbildung 4. Masstab 1 : 1000000.

Bezeichnet nämlich a_k den äussern, a_i den innern Radius eines Ringsektors, φ_l den Winkel des linken, φ_r den Winkel des rechten Grenzradius mit der Tunnelachse, h die mittlere relative Höhe des aus dem Terrain herausgeschnittenen Körpers, in Bezug auf den Punkt, für den die Berechnung durchgeführt werden soll; ist weiter Θ die Dichte des Gesteins der sichtbaren Massen, Θ_m die mittlere Dichte der Erde, so ergibt sich nämlich die Komponente der Lotabweichung in Richtung senkrecht zur Tunnelaxe

$$\eta'' \text{ (Sek. alter Teilung)} = 0{,}00772 \frac{\Theta}{\Theta_m} \times$$

$$\times \Sigma \left[(\cos \varphi_l - \cos \varphi_r) \frac{a_k - a_i}{\frac{1}{2}(a_k + a_i)} (h - \Delta h) \right]$$

$$\text{wo } \Delta h = \frac{1}{2} \frac{h^3}{\left(\frac{a_k + a_i}{2}\right)^2} \text{ bedeutet.}$$

Dies geschieht nach dem Helmert'schen Verfahren dadurch, dass man das Gebiet um den Punkt herum, für den die Lotablenkung berechnet werden soll, durch konzentrische Zylinder, deren Axen in das Lot der Berechnungsstation fallen, zerteilt. Mittels Vertikalebenen durch dieses Lot werden diese zylindrischen Massen weiter unterteilt. Es handelt sich nun darum, die Massen der durch solche Zerlegung entstehenden Körper zu ermitteln.

Für die Berechnung nahm man $\Theta = 2{,}8$ an, sodass unter der weitern Annahme das $\Theta_m = 5{,}6$ sei

sich $\frac{\Theta}{\Theta_m} = \frac{1}{2}$ ergab, womit

$$\eta'' = 0{,}00386\ \Sigma \left[(\cos\varphi_l - \cos\varphi_r) \frac{a_k - a_i}{\frac{1}{2}(a_k + a_i)} (h - \Delta h) \right]$$

wird.

Infolge der oben angegebenen Wahl der Zylinderradien wurde also erreicht, dass $\frac{a_k - a_i}{\frac{1}{2}(a_k + a_i)}$ durchgängig $= 1$ wurde.

Entsprechend den oben angegebenen Winkeln der gewählten Vertikalebenen mit der Tunnelaxe wurde weiter erreicht, dass durchgängig $(\cos\varphi_l - \cos\varphi_r) = 0{,}1$ wurde.

Damit reduzierte sich die Formel für η auf folgende einfachere Gestalt:

$$\underline{\eta'' = 0{,}00386\ \Sigma\ (h - \Delta h)}$$

Abgesehen von der Berechnung der Grössen Δh, die nur für die kleineren Distanzen merkbare Beträge ergeben, beschränkte sich also die Berechnung auf die Summation der für jeden Teilkörper ermittelten relativen mittlern Höhen. Die Bestimmung dieser mittlern Höhen ist allerdings eine ziemlich zeitraubende Arbeit.

Das Ergebnis der Berechnung war folgendes:

Station Kandersteg	η	$= +\ 0{,}1''$
Station First	η	$= -\ 3{,}0''$
Station Wildelsigengrat	η	$= -\ 7{,}5''$
Station Immenengrat	η	$= +\ 16{,}4''$
Station Goppenstein	η	$= +\ 9{,}4''$

Das Zeichen + bedeutet dabei Ablenkung des Lotes gegen Osten.

Diese transversalen Lotstörungen besagen, dass die physischen Lotrichtungen um die oben für die einzelnen Stationen angegebenen Beträge von den Normalen einer für die Berechnungen zu Grunde gelegten Ellipsoidfläche abweichen. Daher beschreibt die Ziellinie des Theodolitfernrohres beim Kippen des mit Hilfe der Libelle richtig aufgestellten Theodoliten auch keine Normalebene zur Vermessungsgrundfläche (Ellipsoid).

Wenn wir daher die oberirdische Absteckung frei von Einflüssen der Lotabweichung berechnen wollen, müssen wir den Einfluss der Schiefe der Horizontalachse oder Kippachse von der durch Annahme der Berechnungsgrundfläche bedingten Lage auf die einzelnen Richtungen in Betracht ziehen.

Da nun die Schiefe der Horizontalachse gegenüber der theor. Lage nichts anderes als die transversale Komponente η der Lotablenkung ist, so bedürfen wir nur noch der Kenntnis der Neigungen der bei der oberirdischen Absteckung benützten Richtungen. Diese Neigungen wurden durch trigonometrische Höhenwinkelmessungen auf den Stationen der oberirdischen Absteckungen ermittelt. Ist diese Neigung α, der Betrag der östlichen Lotabweichung η, so ist der Einfluss auf die Zielung bekanntlich $= \eta \operatorname{tg} \alpha$.

Die gemessenen Neigungen sind die folgenden:

Axsignal First	— Observ. Kandersteg	$= -\ 19^0\,36'34''$
„ „	— Axs. Wildelsigengr.	$= +\ 4^0\,14'54''$
Axsig. Wildelsigengrat	— Axsignal First	$= -\ 4^0\,19'19''$
„ „	— Axsig. Immenengrat	$= -\ 2^0\,14'51''$
Axsig. Immenengrat	— Axs. Wildelsigengr.	$= +\ 2^0\,08'31''$
„ „	— Axsig. Goppenstein	$= -\ 22^0\,12'26''$

Mit Hilfe dieser gemessenen Höhenwinkel und der oben angegebenen Lotabweichungen wurden die Winkel auf First, Wildelsigengrat und Immenengrat reduziert und folgende Werte gefunden:

Korrektur der Winkel

Kandersteg — First — Wildelsigengrat	$= -\ 1{,}29''$
First — Wildelsigengrat — Immenengrat	$= +\ 0{,}86''$
Wildelsigengr. — Immenengr. — Goppenst.	$= +\ 7{,}30''$

Da die Lotablenkung für Kandersteg um $+\ 0{,}1''$ gefunden wurde, darf ihr Einfluss füglich vernachlässigt werden.

Dagegen wird ein beträchtlicher Einfluss auf Goppenstein zur Geltung kommen. Diese Winkelreduktion wurde unter der Annahme berechnet, dass nur die Visur Goppenstein und Immenengrat eine Richtungskorrektion erhalte, die Richtung in den Tunnel hinein aber infolge von nur 3,8 ‰ Neigung ohne Fehler sei.

Man fand so Korrektur des Winkels Immenengrat — Goppenstein — Tunnelinneres $= -\ 3{,}84''$.

Da nun bei der oberirdischen Absteckung alle Winkel zu 180° bezw. 0° abgesteckt worden sind, ist das Polygon mit Rücksicht auf die Berechnung auf einem Ellipsoid kein vollständig gestrecktes, sondern es besitzt kleine Brechungswinkel.

Nimmt man die Linie Observatorium Kandersteg — Visiermarke First als Basis an, so wird auch die Richtung Observatorium Kandersteg — Tunnelinneres in derselben Axe liegen, weil auf Observatorium Kandersteg der Lotablenkungseinfluss null ist. Man erhält so die in Abbildung 5 dargestellten Verhältnisse.

Wenn man dieses Polygon entsprechend den in der Figur eingeschriebenen Entfernungen durchrechnet, findet man, dass die so abgesteckte Axe in der Tunnelmitte, gegenüber der von Kandersteg aus abgesteckten Axe, eine seitliche Abweichung von 296,2 *mm* erhält. Das würde also

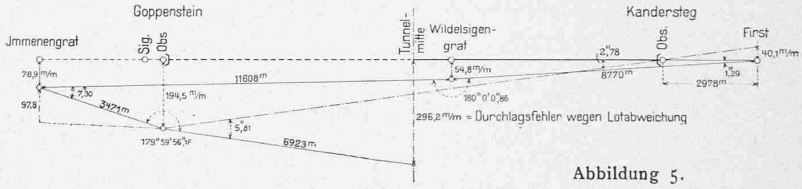

Abbildung 5.

dem durch die Lotabweichungen erzeugten Durchschlagsfehler entsprechen.

Die Visuren Kandersteg — First und Goppensein — Immenengrat müssen nun um die Punkte Kandersteg bezw. Goppenstein so gedreht werden, dass die abgesteckten Linien Kandersteg-Tunnelmitte und Goppenstein-Tunnelmitte in dieselbe Gerade Kandersteg-Goppenstein fallen. Daraus berechnet man, dass Immenengrat um 97,8 *mm* nach Osten und First um 40,1 *mm* nach Westen versetzt werden muss.

Die hier mitgeteilten Zahlen entsprechen nicht genau den im Bericht Rosenmund enthaltenen; erstens weil die Lotablenkung auf Wildelsigengrat berücksichtigt ist, zweitens weil die gemessenen Neigungen der Visuren eingeführt sind, während Rosenmund die aus den rohen Meereshöhen berechneten Winkel seinen Berechnungen zu Grunde legte.

Nach einer Angabe in einem Protokoll soll denn auch Mathys die von Rosenmund berechneten Verschiebungen dieser beiden Visiermarken vorgenommen haben.

Während einer Absteckung in Goppenstein starb Mathys plötzlich, sodass die Unternehmung genötigt war, sich nach einem Nachfolger umzusehen. Auf Empfehlung des Direktors der schweiz. Landestopographie, Oberstleutnant Held, fiel die Wahl auf den Verfasser dieses Artikels, der damals Ingenieur I. Klasse der Landestopographie war. Der Bundesrat bewilligte ihm den für diese Arbeit nötigen Urlaub. Dies war im Herbst 1907. Mit Rücksicht darauf, dass die Protokolle von Mathys nicht vollständigen Einblick in die ausgeführten Arbeiten gewährten, entschlossen sich Unternehmung und der Verfasser, die für die Richtung massgebende oberirdische Absteckung im Sommer 1908 nochmals nachzuprüfen, um ganz sicher zu gehen. Bis dahin wurden für die Absteckungen im Innern des Tunnels die Mathys'schen Elemente benutzt.

III. Oberirdische Absteckung Baeschlin.

Um das oberirdische Absteckungspolygon auf seine Richtigkeit zu prüfen, wurde im August 1908 vom Verfasser folgendermassen vorgegangen.

Es wurden die Brechungswinkel des Polygons mit Hilfe eines 21 *cm* Schraubenmikroskop-Repetitionstheodoliten je vier Mal acht Mal repetiert, nämlich die Winkel:

1. Observatorium Kandersteg-Axpunkt First-Axsignal Wildelsigengrat.

2. Axsignal First-Axpunkt Wildelsigengrat-Axsignal Immenengrat.

3. Axsignal Wildelsigengrat-Axpunkt Immenengrat-Axsignal Goppenstein.

4. Axpunkt Immenengrat-Axsignal Goppenstein-Observatorium Goppenstein.

Der mittlere Fehler eines Winkels lag zwischen $\pm$ 0,38″ und $\pm$ 0,65″.

Die gemessenen Winkel wurden vom Einfluss der Lotablenkung mit Hilfe der früher mitgeteilten Zahlen befreit und nun das ganze Polygon mit Hilfe der durch Seitwärtsabschneiden ermittelten Polygonseiten unter Annahme der Seite Observatorium Kandersteg-Axpunkt First als Abscissenaxe durchgerechnet. Es ergab sich, dass wenn die Durchschlagsstelle in die Tunnelmitte fällt, bei den festgelegten Richtungselementen ein Durchschlagsfehler von 27,6 *cm* zu erwarten war, unter der Voraussetzung, dass die innere Absteckung fehlerlos wäre. Um diesen Fehler zu Null zu machen, wurden die beidseitigen Axstücke: Observatorium Kandersteg-Axsignal First und Observatorium Goppenstein-Axsignal Immenengrat um die Observatorien so gedreht, dass sie in dieselbe Gerade fielen. Dementsprechend mussten die beiden Axsignale First und Immenengrat neu gestellt werden:

Axsignal First wurde um 50 *mm* nach Südwesten verschoben.

Axsignal Immenengrat wurde um 68 *mm* nach Nordosten verschoben.

Die Signale wurden im Herbst 1908 in die neuen Stellungen gebracht und befinden sich heute noch in denselben. Visiert man von den Observatorien nach diesen korrigierten Signalen und schlägt das Fernrohr eines vollständig korrigierten Theodoliten durch, so ist es genau in die Tunnelaxe gerichtet, es können also im Tunnel an beliebiger Stelle Axpunkte bestimmt werden. Die beiden so bestimmten Axen fallen in dieselbe Gerade.

Wenn man die Verschiebungen, die an den Axsignalen First und Immenengrat gegenüber der Mathys'schen Einstellung anzubringen waren, näher ins Auge fasst, so fällt auf, dass die Verschiebungen im gleichen Sinne und in ungefähr derselben Grösse vorzunehmen waren, wie sie an den *ursprünglichen* Mathys'schen Punkten infolge der Berücksichtigung der Lotablenkung notwendig wurden. Es wäre daher denkbar, dass Mathys jene früher erwähnten Verschiebungen gar nicht angebracht hat.

Hätte der Verfasser die Richtungselemente des Tunnels nicht in der oben angegebenen Weise korrigiert, so wäre der effektive Durchschlagsfehler von 25,7 *cm* auf 53,3 *cm* angewachsen.

Auf ungefähr dieselbe Grösse wäre der Durchschlagsfehler angestiegen, wenn die Reduktion wegen Lotablenkung nicht in Berücksichtigung gezogen worden wäre. Die Lotablenkungsbestimmung aus sichtbaren Massen hat sich also am Loetschbergtunnel ähnlich wie am Simplontunnel gut bewährt. Die Theorie hat daher die Genugtuung, der Praxis den richtigen Weg gewiesen zu haben.

Mit diesen Bestimmungen war die Angabe der Tunnelrichtung und der Tunnellänge definitiv geworden.

IV. Bestimmung der Höhenlage der Tunnelportale.

Zu einer vollständigen Bestimmung der Absteckungselemente gehört auch die Höhenbestimmung der Tunnelendpunkte.

Dieses fehlende Element wurde durch Anschluss an das Eidg. Präzisionsnivellement bestimmt.

Das Gebiet des Loetschbergtunnels wird durch folgende Schleife des durch die schweiz. geodätische Kommission in den Jahren 1865 bis 1887 ausgeführten schweiz. Präzisionsnivellements umschlossen:

Bern — Fribourg — Romont — Lausanne — Ouchy — Martigny — *Gampel* — Brig — Gletsch — Furka — Andermatt — Altorf — Schwyz — Luzern — Sarnen — Brienz — Interlaken — *Kanderbrücke zwischen Gwatt und Spiez* (⊙ 21) — Thun — Bern (Abbildung 6).

Diese Schleife besitzt eine Länge von 553,3 *km*. Sie hat bei der Bestimmung einen Schlussfehler von 179,4 *mm* ergeben; es ist weitaus die längste Schleife des schweiz. Präzisionsnivellements. Bei der Anlage des Netzes war geplant worden, die Punkte Brienz und Gletsch über die Grimsel direkt zu verbinden. Die Strecke wurde auch doppelt nivelliert. Aber die beiden Resultate stimmten sehr schlecht miteinander, sodass man gezwungen war, diese direkte Verbindung für die Ausgleichung des Netzes wegzulassen.

Die schweizerische Landestopographie liess im Jahre 1899 die Strecke: Kanderbrücke zwischen Gwatt und Spiez-Frutigen-Kandersteg doppelt nivellieren. Diese Strecke misst 36 *km* bis zu dem Fixpunkt *NF* 52, der dem Tunnelportal am nächsten liegt.

Im Jahre 1906 wurde durch dieselbe Amtsstelle ein Nivellement von Gampel nach Goppenstein längs des Saumpfades in der Lonza-Schlucht doppelt ausgeführt. Die Länge dieser Anschlusstrecke misst bis zum Fixpunkt $NF\ 14^A$, der dem Tunnelportal am nächsten liegt, 8,6 *km*.

Es bildet also das Tunnelnivellement bei einer Länge von 15,7 *km* das Schlusstück einer 60 *km* langen Diagonale des oben erwähnten grossen Polygons, die dasselbe nahezu in der Mitte durchschneidet. Die schweiz. Landestopographie beabsichtigt denn auch, diese neue Verbindung, sobald der Tunnel fertig ausgebaut sein wird, für ein Präzisionsnivellement zu benützen, um dadurch eine günstigere Form für das in Arbeit befindliche neue schweiz. Präzisionsnivellement zu erhalten.

Durch kurze Nivellementsanschlüsse von 900 *m* (Nordseite) und 300 *m* (Südseite) wurde von den nächstliegenden Nivellementsfixpunkten aus die Höhe der Observatorien und von ganz in der Nähe der Portale angelegten Fixpunkten bestimmt. Damit war auch die Grundlage für die Höhenbestimmung im Tunnel gegeben.

Hier ist auch die Frage zu erledigen, mit welchem mittleren Fehler der Höhenunterschied zwischen *NF* 52 (Kandersteg) und $NF\ 14^A$ (Goppenstein) durch die Bestimmungen des schweiz. Präzisionsnivellements bestimmt ist.

Ueber diese Frage hat Dipl. Ing. Hans Zölly, Chef der geodätischen Sektion der schweiz. Landestopographie eine interessante Untersuchung gemacht, deren Hauptresultate hier angegeben werden sollen. Zölly war auch ständiger Mitarbeiter des Verfassers für das Tunnelnivellement, das er vollständig durchgeführt hat.

Aus den Genauigkeitsuntersuchungen über das schweiz. Präzisionsnivellement, enthalten in der 9. Lieferung von „Nivellement de précision de la Suisse" 1891, pag. 629 bis 641 ergibt sich, dass der mittlere Höhenfehler zwischen den Punkten *NF* 187 Brienz und *NF* 84 Brig = $\pm$ 60,0*mm* beträgt.

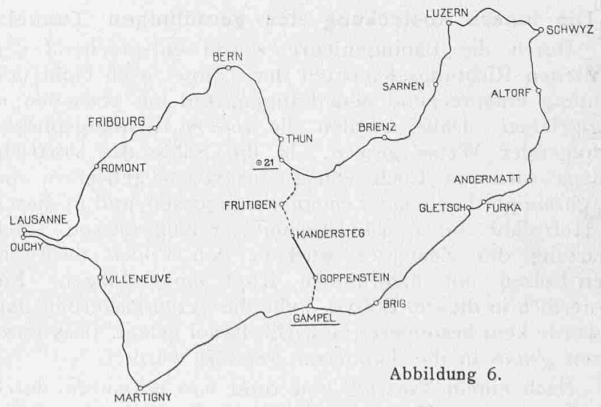

Abbildung 6.

Die Strecken des anfangs erwähnten grossen Polygons von 553,3 *km* zwischen den beiden in Betracht gezogenen Punkten sind:

226,6 *km* über Luzern-Gotthard,
326,7 *km* über Bern-Lausanne.

Da die Anschlusspunkte Kanderbrücke bei Gwatt und Gampel keine Hauptpunkte des Nivellementsnetzes sind, muss der mittlere Fehler für den Höhenunterschied zwischen diesen Punkten durch eine Spezialuntersuchung bestimmt werden.

Die Entfernung Brienz *NF* 189 — Kanderbrücke bei Gwatt (⊙ 21) ist 41,7 *km*. Rechnet man für diese Strecke nach der Formel von pag. 614 a. a. O. das mittlere Fehlerquadrat δ^2, so findet man $\delta_1^2 = 279$.

Die Entfernung Brig-Gampel beträgt 21 *km*. Für diese Strecke findet man $\delta_2^2 = 85$. Da diese beiden Nivellements sich von der nähern Polygonverbindung der Ausgangspunkte Brienz und Brig entfernen, so müssen diese Fehlerquadrate zu der für den Höhenunterschied Brienz-Brig gefundenen Quadratsumme von 3600 = 60,0² addiert werden.

Es sollen hier auch noch die Fehlerquadrate der Anschlussnivellemente der Landestopographie bestimmt werden.

Die Strecke Kanderbrücke bei Gwatt-Kandersteg besitzt einen mittleren *1 km*-Fehler von ± 0,74 *mm*; das ergibt für die ganze Strecke von 36 *km* ein Fehlerquadrat $\delta_3^2 = 20$.

Die Strecke Gampel-Goppenstein besitzt einen mittleren Kilometer-Fehler von 1,73 *mm*. Das ergibt für die ganze Strecke von 8,6 *km* ein Fehlerquadrat $\delta_4^2 = 26$.

Das mittlere Fehlerquadrat für den Höhenunterschied zwischen *NF* 52 (Kandersteg) und *NF* 14^A (Goppenstein) wird daher: 3600 + 279 + 85 + 20 + 26 = 4010.

Der mittlere Fehler dieses Höhenunterschiedes wird also

$$\underline{m_{anschluss} = \pm 63{,}3\ mm.}$$

Daraus schliesst man, dass, wenn auch das eigentliche Tunnelnivellement vollständig fehlerlos durchgeführt worden wäre, dennoch ein Höhendurchschlagsfehler von 19 *cm* im ungünstigsten Falle möglich gewesen wäre.

Wir werden später den mittleren Fehler des Tunnelnivellements ableiten.

Er ergibt sich zu ± 6,30 *mm* für die ganze Tunnellänge von 15,7 *km* samt den beidseitigen Anschlüssen. Berechnet man damit den mittleren Fehler für das Zusammentreffen des südlichen und des nördlichen Tunnelnivellements, so findet man

$$\underline{m_{Durchschlag}} = \pm \sqrt{4010 + 40} = \pm \underline{63{,}6\ mm.}$$

Vergleicht man diesen Wert mit dem mittleren Fehler, herrührend vom Anschluss an das Landesnivellement, so erkennt man eine unmerkliche Vergrösserung, woraus zu schliessen ist, dass das Tunnelnivellement zum effektiven Höhendurchschlagsfehler von 102 *mm* ganz unwesentlich beigetragen hat. Der maximale Höhendurchschlagsfehler bleibt 19 *cm*.

V. Die innere Absteckung des geradlinigen Tunnels.

Durch die Bauingenieure wurde entsprechend den erhaltenen Richtungselementen der Tunnel nach Höhe und Richtung entsprechend dem Längenprofil um etwa 600 *m* vorgetrieben. Dabei wurden alle 100 *m* Richtungspflöcke in folgender Weise gesetzt. In die Sohle des Vortriebstollens wird ein Loch von 40 bis 50 *cm* getrieben, das gut gereinigte Loch mit Zement ausgegossen und in diesen ein Holzpfahl von 15 *cm* Durchmesser eingestossen. Nach Erhärtung des Zementes wird in den Pflock noch ein Eisen-Bolzen mit halbrundem Kopf eingeschlagen. Ein Körnerloch in diesem Bolzen stellt die Axversicherung dar. Es wurde kein besonderes Gewicht darauf gelegt, dass diese Bolzen *genau* in die Tunnelaxe versetzt würden.

Nach einem Vortrieb von rund 600 *m* wurde durch eine sogenannte *Hauptabsteckung* die Lage der bis dahin gesetzten Punkte kontrolliert. Während einer solchen Hauptabsteckung war die Arbeit im ganzen Tunnel eingestellt, damit keine Störung der Absteckungsarbeiten durch Materialzüge und durch Rauch eintrat. Es wurde daher dafür gewöhnlich ein allgemeiner Feiertag gewählt.

Zum Voraus wurde zwischen dem Leiter der Absteckung (bis 1907 Mathys, von da an der Verfasser) und dem Oberingenieur der betreffenden Tunnelseite ein detailliertes Programm über die durchzuführenden Arbeiten, die zugeteilten Ingenieure und Arbeiter und die bereit zu stellenden Instrumente und Geräte, vereinbart. Mustergültig waren stets die von der Nordseite ausgearbeiteten Programme, was speziell der Erfahrung von Herrn Oberingenieur F. Rothpletz zu verdanken war.

Gewöhnlich wurden während einer solchen Hauptabsteckung folgende Arbeiten durchgeführt: a) Richtungskontrolle, b) Nivellement, c) Längenmessung.

Wenn wir von den wenigen Kontrollen absehen, welche unter Herrn Mathys stattfanden, so standen die Operationen a und b unter der Leitung des Verfassers. Die Längenmessung wurde übrigens nur auf der Nordseite durchgeführt und ging auf Verantwortung der Unternehmung. Der Verfasser besorgte gewöhnlich nur die Lattenvergleichungen.

Die Richtungskontrolle wurde vom Verfasser selbst ausgeführt, während das Nivellement durch Ingenieur H. Zölly besorgt wurde. Dadurch war es möglich, die Hauptabsteckung in wesentlich kürzerer Zeit durchzuführen. Im Allgemeinen betrug die Arbeitseinstellung für eine Hauptabsteckung 24 Stunden. Einige wenige Male, wo grosse Strecken zu erledigen waren, wurden 48 Stunden nötig.

a) Die Richtungs-Kontrolle.

Zur Vornahme der Richtungskontrolle stand ein spezielles Instrumentarium zur Verfügung. Die wesentlichsten Bestandteile desselben waren:

1. Ein *Absteckungstheodolit* von Kern & Cie. in Aarau. Es ist dies ein Theodolit ohne Teilkreise, mit durchschlagbarem starkem Fernrohr.

Er besitzt drei Libellen, zwei senkrecht zueinander angeordnete Alhidadenlibellen und eine Reiterlibelle auf der Horizontalachse. Zur Beleuchtung des Fadenkreuzes war in der Zielachse unter 45° zur selben ein kleiner versilberter Spiegel angebracht, der von einer kleinen Glühlampe durch die durchbohrte Horizontalachse Licht erhielt, das dann auf das Fadenkreuz abgelenkt wurde, sodass die Fäden schwarz im hellen Feld erschienen. Da das Aufsuchen von schwachen Lichtern häufig bedeutenden Zeitverlust bedingte, liess der Verfasser später einen horizontalen und einen vertikalen Aufsuchekreis mit Teilung von Grad zu Grad anbringen, was sich sehr bewährt hat.

2. Vier schwere eiserne dreibeinige *Stative*. Die Konstruktion dieser Dreifüsse war nicht sehr glücklich durchgeführt, da sie im Verhältnis zur Schwere sehr wenig stabil waren. Sie würden sich wesentlich leichter und dennoch viel stabiler konstruieren lassen. Zu erwähnen ist, dass ein Bein ausgezogen und verkürzt werden kann, welche Einrichtung sehr empfehlenswert ist. Auf diese Dreifüsse kann vermittelst von drei Stellschrauben ein sog. *Oberstativ* aufgesetzt werden. Es ist das eine Konstruktion, die erlaubt, einen Schlitten um etwa 30 *cm* seitlich zu verschieben, wobei die Stellung des letztern an einer Millimeterskala abgelesen werden kann. Die ebene Oberfläche des Schlittens kann vermittelst der drei Stellschrauben horizontal gestellt werden.

Diese Stative dienen dazu, um entweder den Theodoliten oder die Visierlampen im Innern des Tunnels zu tragen. Das Oberstativ wird derart auf den Dreifuss aufgesetzt, dass die Bewegungsrichtung des Schlittens senkrecht zur Tunnelaxe zu stehen kommt. Der Schlitten trägt in der Mitte auf der Unterseite einen Senkelhaken. Der daran befestigte Senkel muss auf den Richtungsbolzen eingestellt werden können. Dies wird erreicht dadurch, dass das Oberstativ als Ganzes gegenüber der Platte des Dreifusses in Richtung der Tunnelaxe um einige Zentimeter verschoben werden kann, indem sich die Stellschrauben des Oberstatives in länglichen Schlitzen der Dreifussplatte bewegen können.

3. *Visierlampen*. Auf einen kleinen Dreifuss mit Stellschrauben ist eine Vertikalachse drehbar aufmontiert. Auf dieser

Achse ist ein 4 *cm* breiter, etwa 10 *cm* hoher Visierschlitz angebracht. Die Breite des Schlitzes lässt sich durch eingeschobene Blechstreifen auf 30, 20 und 10 *mm* verringern. Hinter diesem Visierschlitz befindet sich eine Azethylenflamme, welche aus einem besondern Reservoir gespiesen wird. Um das Licht möglichst vollständig in der Richtung des Schlitzes zu senden, befindet sich hinter der Flamme ein halbkreisförmiger Reflektor aus verzinntem Blech.

Der Visierschlitz kann durch eine vorgeschobene Milchglasscheibe verschlossen werden, wodurch das Licht diffus über den ganzen Schlitz verteilt erscheint. Allerdings wird dadurch ausserordentlich viel Licht absorbiert.

Das ganze Instrumentarium ist wesentlich dasselbe, wie es für die Absteckung des Simplontunnels verwendet worden ist, und stammt mit Ausnahme des Theodoliten von der Firma Pfister & Streit in Bern.

Der für die Absteckung beobachtete Vorgang war folgender:

Der Absteckungstheodolit wird zentrisch über den Observatoriumspfeiler gebracht und die Stehachse genau senkrecht gestellt. Wenn das Wetter dies gestattet, wird das Axsignal First bezw. Immenengrat anvisiert. Ueber denjenigen Punkten, deren Lage zur Axe kontrolliert werden soll, sind vorher je ein Dreifuss mit Oberstativ aufgestellt worden. Auf dem entferntesten Punkte, der vom Observatorium aus abgesteckt werden soll, wird eine brennende Visierlampe aufgestellt. Man schlägt jetzt das Fernrohr des Absteckungstheodoliten durch. Auf telephonisch übermittelte Befehle hin wird die Visierlampe samt dem beweglichen Schlitten solange verschoben, bis der Vertikalfaden des Absteckungsfernrohrs den hellbeleuchteten Visierschlitz genau halbiert. Sobald dies erreicht ist, wird die Stellung des Schlittens abgelesen.

Die Alhidade des Theodoliten wird um ungefähr zwei Rechte gedreht und das Axsignal wieder anvisiert. Schlägt man das Fernrohr durch, so kann man durch telephonischen Befehl die Lampe neuerdings an den Vertikalfaden bringen. Infolge von systematischen Fehlern des Absteckungstheodoliten (Kollimationsfehler, Horizontalachsenschiefe) wird dabei die II. Lage des Schlittens selten mit der I. Lage zusammenfallen. Dagegen stellt nun das arithmetische Mittel der beiden Stellungen, abgesehen von zufälligen Fehlern (hauptsächlich Zielfehler), die Tunnelaxe dar.

Zur Erhöhung der Zuverlässigkeit und um einen Einblick in die erreichte Genauigkeit zu erhalten, wurden gewöhnlich vier Doppelvisuren (in beiden Fernrohrlagen) ausgeführt.

Die grösste Distanz, die so vom Observatorium aus bewältigt werden konnte, war 2550 *m*. Im Allgemeinen aber musste mit viel geringern Zielweiten gearbeitet werden, weil die Luft nicht klar genug war, um die Lampen auf grosse Distanzen zu sehen. Die Normaldistanz ergab sich daher zu 600 *m*; manchmal musste allerdings auf 400 *m*, ja sogar auf 200 *m* herabgegangen werden, weil ein feiner Nebel viel Licht absorbierte. Andere Male war der Nebel zeitweise so dicht, dass man kaum 30 *m* weit sah. Dann wurde durch Aenderung in den Ventilationsverhältnissen versucht, bessere Luft zu beschaffen. Es galt da manchmal Stunden lang müssig zu warten, bis die Verhältnisse besser geworden waren.

Waren noch weitere Punkte vom Observatorium aus festzulegen, so wurde der Schlitten auf dem zuerst bestimmten Tunnelpunkt auf das arithmetische Mittel aller Schlittenablesungen gestellt und die Lampe so in die wahrscheinlichste Tunnelaxe gebracht. Die weitern Punkte wurden in diese Gerade eingeschaltet. Das Theodolitfernrohr wird auf den zuerst erledigten Punkt eingestellt. Die Lampe des einzuschaltenden Punktes ist gleichzeitig sichtbar und wird durch telephonische Befehle an den Vertikalfaden gebracht. Der Vorteil dieses Verfahrens ist, dass man weniger von Instrumentenfehlern abhängig ist und schneller zum Ziel gelangt. Gewöhnlich wurden zwei Doppelvisuren ausgeführt.

Sind weitere Punkte im Tunnelinnern zu kontrollieren, so wird der Theodolit auf den hintersten abgesteckten Punkt vorgetragen und dort genau in die vorher bestimmte Tunnelaxe gebracht. Von dieser Theodolitaufstellung aus wird eine im Observatorium zentrisch aufgestellte Visierlampe anvisiert. Im übrigen wird ganz analog wie oben für das Observatorium beschrieben worden ist, verfahren.

Zur Erhöhung der Genauigkeit wurde derselbe Pflock mindestens anlässlich von zwei verschiedenen Hauptabsteckungen in Bezug auf seine Lage zur Axe untersucht. Dies ist unumgänglich, um sicher zu sein, dass die Pflöcke unverändert geblieben sind. Das war beim Loetschbergtunnel durchaus nicht immer der Fall. Es wurden mehrere Axpunktverschiebungen konstatiert. Bei Km. 2,2 der Südseite hatte sich der Axpflock zwischen zwei Hauptabsteckungen um 7 *cm* verschoben, offenbar deshalb, weil der ganze Betonklotz beim Verlegen des Dienstgeleises von seiner Unterlage sich gelöst hatte und seitwärts rutschte. Wenigstens war auch die Höhe des Nivellementsbolzens verändert. In der Druckpartie auf der Nordseite (etwa Km. 3,5 vom Nordportal) dagegen war das ganze Felsmassiv in Bewegung, sodass sich die Lage der Punkte in der gefährdeten Partie von Absteckung zu Absteckung änderte, wobei hauptsächlich die starke Hebung der Tunnelsohle auffiel.

Bei diesen Absteckungen spielten die Telephone, die zur Uebermittlung der Befehle für die Lampenverschiebungen dienten, eine wichtige Rolle. Sie bereiteten allen Beteiligten manchen Verdruss. Es wurden Feldtelephone mit Mikrophon benützt. Als Leitung wurden Kabel verwendet. Die Rückleitung erfolgte durch die Erde. Infolge des hohen Feuchtigkeitsgehaltes der Luft im Tunnel (häufig 100 %) wurden die Mikrophone bald feucht und funktionierten dann häufig sehr schlecht oder auch gar nicht, sodass viele Verzögerungen der Arbeit auf Telephonstörungen zurückzuführen waren. Für künftige ähnliche Arbeiten würde es sich empfehlen, Telephone zu benützen, die gegen Feuchtigkeitseinflüsse möglichst unempfindlich sind, was durch Spezial-Konstruktionen wohl zu erreichen wäre.

Auf einen Punkt muss noch aufmerksam gemacht werden, der bedingte, dass die Absteckung mit wesentlich weniger Proben durchgeführt werden konnte, als am Simplontunnel.

Infolge der Zweispurigkeit des Tunnels gingen sämtliche Richtungspunkte im Verlaufe der Arbeit verloren, weil der definitive Kanal in der Axe liegt. Es musste also bei der Ausweitung immer auch noch in der Sohle gesprengt werden. Im definitiven, mit Kanal versehenen Tunnel wurden daher zur Axversicherung Doppelwinkeleisen quer zur Kanalaxe in die Kanalwände einbetoniert. Als Axpunkt wurde ein starkes Körnerloch auf der Oberfläche dieses Eisens angebracht. (Forts. folgt.)

Die Hochbauten der Bodensee-Toggenburg-Bahn und Rickenbahn.

(Mit Tafeln 25 bis 28.)

Die jüngste unserer vor kurzem in Betrieb gekommenen schweizerischen Normalbahnen, die Linie, die Romanshorn am Bodensee direkt mit St. Gallen und durch das Toggenburg über den Ricken die Kantonshauptstadt mit Uznach und dem südlichen Teil des Kantons, dem Gasterland, verbindet, hat Anlass geboten, bei Ausführung der Stationsgebäude von den bisher meist befolgten Gepflogenheiten abzugehen. Es wurden hier nicht für die Aufnahmegebäude der verschiedenen Klassen Typen aufgestellt und auf der ganzen Linie darnach gebaut, wie es sonst üblich war, sondern man suchte grundsätzlich sich den je für die von der Bahn durchzogenen Gegenden üblichen Bauformen anzupassen.

Es ist viel für und manches gegen diesen Versuch gesagt worden. Man fand, ein Bahnhofgebäude solle in seiner Bauweise zunächst seine Zweckbestimmung zum Ausdruck bringen und namentlich sei es für Orientierung der Reisenden wohl nützlicher, dass es sich dabei von den